

VALIDAÇÃO DO SISTEMA DE CLIMATIZAÇÃO DE CÂMARAS DE ESTOCAGEM QUANTO À TEMPERATURA E UMIDADE RELATIVA

JULIANA S. **ZANINI**¹, VALÉRIA D. A. **ANJOS**², LUCIANO **ARMILIATO**³, ERNESTO **QUAST**⁴

Nº 10229

Resumo

Neste estudo foi validado o sistema de controle de temperatura e umidade (SITRAD) em teste nas seis câmaras de refrigeração. Para tanto termopares tipo T foram calibrados no Laboratório de Propriedades Físicas do GEPC/ITAL – Campinas – SP. Para a validação do sistema utilizou-se o cálculo de incerteza de medição e gráficos de controle estatístico de processo. Verificou-se que a incerteza de medição no ponto analisado para a umidade está dentro da tolerância prevista (5%), enquanto que para a temperatura o valor encontra-se acima do previsto (3°C) o que deverá ser investigado para melhor desempenho das câmaras de refrigeração.

Abstract

This study has validated the control system of temperature and humidity (SITRAD) in the six refrigeration chambers. Thermocouples Type T were calibrated in the Physical Properties Laboratory of GEPC / ITAL - Campinas - SP. For the system validation it was used the uncertainty of measurement and graphing statistical process control. It was found that the measurement uncertainty in the analyzed point for humidity is according to the tolerance (5%), while for the temperature this value is more than expected (3°C), what will be investigated to improve the performance of the refrigeration chamber.

1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a necessidade de monitorar e validar os sistemas de medição, não somente visando atender os requisitos das normas ISO 9001 e ISO/IEC 17025, o

1. Bolsista CNPq: Graduação em Engenharia de Alimentos, FEA/UNICAMP, Campinas-SP,,
juzanini@hotmail.com

2. Orientadora: Pesquisadora, GRUPO DE ENGENHARIA E PÓS-COLHEITA/ITAL, Campinas-SP

3,4. Colaboradores: Pesquisadores, GRUPO DE ENGENHARIA E PÓS-COLHEITA/ITAL, Campinas-SP

é importante que os equipamentos de medição sejam confiáveis e que as incertezas e desvios sejam conhecidos.

Para os estudos de pós-colheita, utilizam-se câmaras climáticas com temperatura e umidade relativa controladas, de acordo com os requisitos do ensaio. Porém, existe a necessidade de se conhecer a resposta do sistema de monitoramento utilizado na manutenção da temperatura e umidade relativa do setor.

As ações realizadas internamente com relação ao controle e monitoramento dos equipamentos geram a melhoria contínua do sistema, maior confiabilidade, menor custo com calibrações externas, menor retrabalho, maior aprimoramento dos métodos e nos teste de inspeção, menor tempo de resposta para controle dos equipamentos e capacitação do capital humano nos serviços.

Pela importância de se conhecer o sistema de medição das câmaras o qual está sendo implantado no GEPC este estudo foi realizado, o qual servirá de subsídio aos engenheiros e técnicos para que as medidas de ajustes sejam implantadas dentro dos desvios apresentados nos ambientes analisados.

2. Material e Métodos

2.1. Calibração dos termopares

Foram calibrados 16 termopares do tipo T, SSA marca Ellab, como padrão de trabalho utilizou-se o termômetro de mercúrio imersão parcial com a escala de -38°C a 42°C e resolução de $0,2^{\circ}\text{C}$ modelo ASTM 33C, nº de série 86746/04 [1].

Os termopares foram conectados aos 16 canais de temperatura do sistema de aquisição de dados ELLAB®, utilizando o *software* E-Val Basic 2.0 (ELLAB A/S, Dinamarca) para a aquisição dos dados. A curva de calibração foi na faixa de temperaturas de 5 a 30°C . A temperatura do termômetro padrão de trabalho foi obtida diretamente do banho hidrotérmico, após 5 minutos de estabilização do mesmo no banho. Após a estabilização foram realizadas cinco medições de temperatura a cada 2 minutos, perfazendo 10 minutos por ponto. A aquisição dos dados via Ellab foi realizada durante 10 minutos a cada 30 segundos com um total de 20 valores que foram convertidos em cinco determinações de quatro valores.

Para o cálculo da incerteza termopares foram consideradas as seguintes fontes de variação: a incerteza do termômetro padrão ($U_b(P)$), a incerteza da resolução do

termômetro padrão ($U_b(R)$), a variância da curva padrão (U_a) conforme modelo da Tabela 1 (INMETRO, 2003).

TABELA 1. Componentes e planilha para cálculo de incerteza expandida.

Símbolo	Componentes		Distribuição de probabilidades		Coeficiente. Sensibilidade. C1	Inc Padr. U_i (+/-)	Grau de liberdade
	Fonte de incerteza	Estimativa	Tipo	Divisor			
$U_b(P)$	Incerteza herdada do Padrão	0,20	N	2	1	0,1000	infinito
$U_b(R)$	Resolução do instrumento	0,2	R	3,36	1	0,0577	infinito.
$U_a(\Delta i)$	Incerteza da regressão	0,0749	N	1	1	0,0749	2
U_c	Raiz quadrada do somatório quadrático das incertezas U_i (acumulada)				$U_c =$	0,19530	
U_{95}	Incerteza de medição expandida a 95% $k=2$					0,28	

Pela lei de propagação das incertezas foram calculadas a incerteza combinada e a incerteza expandida para cada termopar conforme Equação 1.

$$U_{95\%} = 2 \times \sqrt{(U_a)^2 + (U_b(P))^2 + (U_b(R))^2} \quad (1)$$

2.2. Calibração do sistema de monitoramento das câmaras (SITRAD)

Os termopares foram posicionados em doze diferentes pontos das câmaras como apresentados na Figura 1 e conectados ao equipamento ELLAB® para a aquisição dos dados de temperatura durante uma hora para cada câmara.

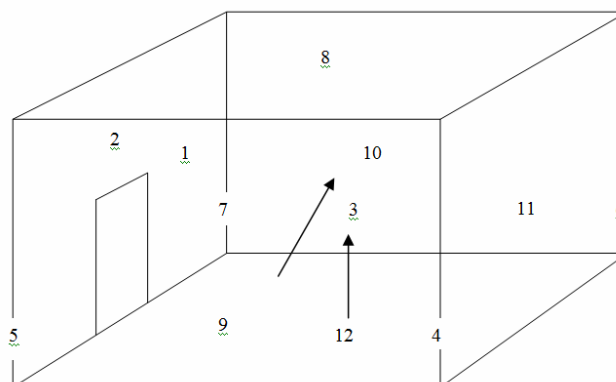


FIGURA 1. Posições dos termopares na câmara para aquisição de dados de temperatura.

Para efeito de cálculo da incerteza das câmaras utilizaram-se os valores obtidos para o termopar posicionado próximo ao sensor de temperatura, seguindo a seguinte equação:

$$\text{Erro médio} + 2 \times DP + 2 \times \sqrt{DP_{\text{experimental}}^2 + (U_{95\% \text{ termopar}}^2)/2} \quad (2)$$

em que, *Erro médio* = (média do valor de temperatura do termopar) – (valor do setpoint); *DP* = desvio padrão do termopar; $DP_{\text{experimental}} = DP / \sqrt{n}$, *n* = número de observações = 60;

2.3. Construção dos gráficos de controle estatístico de processo

Para a construção destes gráficos os limites, de controle superior (LCS) e de controle inferior (LCI), foram calculados com dados de 15 dias utilizando a Equação 3.

$$LC = x \pm A_2 * R \quad (3)$$

em que *x* = a média dos dados médios (temperatura e umidade) de cada dia analisado; *R* = amplitude de uma ocasião; *A*₂ = coeficiente tabelado em função do número de repetições *n*.

O critério-padrão de anormalidade foi a incidência de no mínimo as situações: um único ponto além da zona A (acima do limite superior de controle ou abaixo do limite inferior e controle); nove pontos consecutivos de um mesmo lado do valor central, sendo eles todos acima ou todos abaixo da linha central (média); seis pontos consecutivos ascendentes ou descendentes no gráfico; quatorze pontos consecutivos, alternando-se para cima e para baixo no gráfico; dois em três pontos consecutivos situados na zona A do gráfico; quatro em cinco pontos consecutivos situados nas zonas A ou B de um mesmo lado do gráfico; quinze pontos consecutivos situados na zona C, acima ou abaixo da linha central; oito pontos consecutivos de ambos os lados da linha média, sendo que nenhum ponto esteja situado na zona C (HIRATA, 2002; SARAIVA, 2009).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Incerteza dos termopares tipo T

TABELA 2. Incertezas expandidas dos termopares para a faixa de medição de 5 a 30°C

Termopar	Incerteza Expandida – U_{95} (°C)
TC6, TC7, TC9, TC11	0,26
TC1, TC2, TC8, TC13 e TC15	0,27
TC3, TC4, TC10, TC14, TC16	0,28
TC5, TC12	0,29

3.2. Incerteza das câmaras

A partir dos dados de temperatura das câmaras coletados pelo ELLAB e pelo dados obtidos do Datalogger, calculou-se a incerteza expandida de cada câmara (Tabela 3)

TABELA 3. Incertezas das câmaras 1 a 6.

Câmaras	Temperatura (°C)	Umidade relativa (%)
1	4,09	----
1	3,48	4,20
2	3,52	3,30
3	4,14	2,80
4	3,94	5,80
5	3,27	2,60
6	3,19	2,80

3.3. Gráfico de controle estatístico de processo

Com os dados obtidos do sistema SITRAD foram construídos os gráficos de controle estatístico. A Figura 2 representa o gráfico da câmara 3 com relação à temperatura.

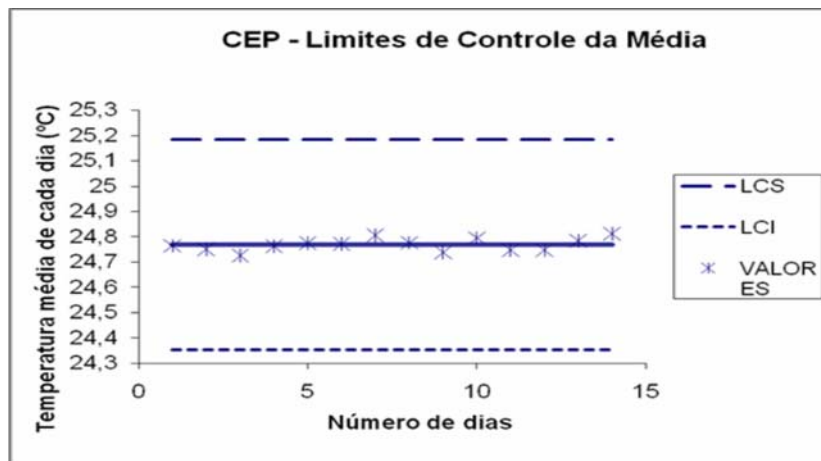


FIGURA 2. Controle estatístico de temperatura da câmara 3.

4. CONCLUSÃO

Pelos resultados obtidos da validação do sistema de medição da temperatura e umidade relativa verificou-se que o sistema SITRAD, ainda em teste, deverá passar por ajuste mais rigoroso para melhor adequação do controle da temperatura. Para a umidade relativa o sistema apresentou valores de incerteza dentro da tolerância adotada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMATIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL-INMETRO – Guia para a Expressão de Incerteza de Medição. 3 ed, Rio de Janeiro, INMETRO, 2003.

HIRATA, Y. S. **Gráficos de Controle para Laboratórios de Ensaio**, Biológico, São Paulo, v.64, n.2, p. 183-185, jul. / dez., 2002.

SARAIVA, C. P. Métodos para ajustar a periodicidade de calibração. In: **SEMANA DA QUALIDADE E METROLOGIA EM PROCESSOS E MEDIÇÕES ANALÍTICAS**, 1., 2009. Campinas. Anais... Campinas: Instituto de tecnologia de Alimentos, 2009. 1 CD.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ /PIBIC, ao Grupo de Engenharia e Pós - colheita do ITAL.